





NÚM. 85 JULIO-AGOSTO DE 2009

ISSN: 1870-1760

BioDIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL ... Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

LA CRISIS DE LOS POLINIZADORES

La polinización es un proceso vital para el mantenimiento de la biodiversidad en la tierra. De ella depende la reproducción de cerca de 90% de las plantas con flor, mismas que desaparecerían si sus visitadores no las polinizaran. En este proceso los animales colectan el polen (gameto masculino) producido por las plantas, lo transportan hacia las partes femeninas de la flor y fecundan los óvulos, produciéndose así las semillas y los frutos.

Foto: © Fulvio Eccardi

LA CRISIS DE LOS POLINIZADORES

MARÍA DEL CORO ARIZMENDI*



Se estima que cerca de 73% de las especies vegetales cultivadas en el mundo y más de 75% de la vegetación mundial son polinizadas por abejas.

Foto: © Fulvio Eccardi

Adicionalmente, tres cuartas partes de los cultivos de los que se alimenta el hombre dependen de la polinización para producir sus frutos. Se calcula que sin los polinizadores no se podría tener uno de cada tres bocados de comida que se consume. Entre los cultivos importantes en México que requieren polinizadores están el frijol, el chile, el tomate y el jitomate, las calabacitas, las ciruelas, los mangos, las manzanas, el café, el cacao para producir chocolate, la vainilla, el almendro, etc. Además, cultivos como la alfalfa, del que depende mucha de la producción de carne, necesitan polinizadores para producir semillas.

Recientemente se han documentado decrementos en las poblaciones de algunos polinizadores, sobre todo de insectos que han sufrido envenenamientos causados por el uso de pesticidas en cultivos, la competencia y el desplazamiento por especies introducidas, así como por la pérdida de hábitat por deforestación y fragmentación.

La extinción de los polinizadores no produciría, al menos de manera inmediata, la desaparición del ser humano dado que muchos de los cereales más importantes, como el maíz y el arroz, se polinizan por viento. Sin embargo, sí produciría fuertes restricciones en la dieta y posiblemente enfermedades masivas debidas a estas carencias. Muchas de las plantas con flor pueden producir frutos sin que se lleve a cabo la transferencia de gametos pero éstos son de baja calidad y sabor, como es el caso de las fresas que, en ausencia de polinizadores, sí genera frutos pero su calidad nutricional es muy baja y su sabor es poco agradable.

Se ha calculado que el valor de los polinizadores para la economía en países como Estados Unidos es de 400 mil millones de dólares por año. Aunque estas cifras son difíciles de estimar en una interacción que involucra alrededor de 400 mil especies en todo el mundo, nos hablan de la importancia que reviste preservar este proceso para el ser humano.

Un buen ejemplo de este valor son los sistemas de agricultura intensiva como la producción de almendras en Estados Unidos. Este cultivo, que en las últimas décadas se ha hecho masivo en California, produce ganancias millonarias por tener rendimientos muy buenos y requerir pocos insumos. Pero en los últimos años se presentaron disminuciones sustantivas sin que aparentemente hubiera alguna explicación. Con un análisis cuidadoso, los investigadores se dieron cuenta de que el factor que limitaba la producción de almendras eran los polinizadores. El uso de pesticidas y la fragmentación del hábitat provocaron la disminución en la abun-

dancia de las abejas nativas en esa región. Esto aunado a la invasión reciente de las abejas africanizadas –que causó la disminución o incluso el abandono de muchos apicultores de las colmenas de abejas italianas– originó una crisis en el cultivo de almendros por falta de polinización. Éste es un cultivo masivo con árboles que tienen entre 50 y 100 flores por día y todas necesitan recibir los servicios de un polinizador para producir la semilla. Hay dos soluciones posibles al problema: realizar una polinización manual de las flores, que eleva el costo de producción haciéndola incosteable, e "importar" polinizadores al sistema contratando los servicios de abejas. Al aplicar esta última, muchos apicultores comenzaron a abandonar la producción de miel para convertir sus colmenas en "migrantes", es decir, transportarlas desde sus lugares de origen hasta California. Esta nueva práctica ha generado enormes ganancias para los apicultores, pero también presenta problemas nuevos para las abejas que, al ser transportadas, experimentan cambios ambientales muy bruscos en pocas horas (temperaturas extremas, cambios de altitud, etc.), lo que les genera enfermedades y estrés adicionales a la propagación de enfermedades asociadas a la mezcla de colonias de diferentes orígenes geográficos en los sitios de polinización.

El jitomate es otro cultivo que requiere polinizadores para su producción. En este caso es un abejorro el implicado (*Bombus* spp., la especie varía de acuerdo con la región). Cuando se cultiva esta planta al aire libre la polinización se efectúa normalmente, pero cuando se hacen cultivos en condiciones de invernadero es necesario el servicio de los abejorros. En 1987 se encontró que era factible la crianza de algunas especies de abejorros –como *Bombus terrestris*, nativa de Europa, el norte de África y Asia– y posible su producción para la venta a los agricultores de invernadero. En Estados Unidos se cultivan dos especies nativas con fines comerciales: *Bombus impatiens*, en el este, y *Bombus occidentalis*, en el oeste. Las especies cultivadas son escogidas por su capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas y por sus altas tasas reproductivas, lo que les permite crear colonias densas en un lapso corto. Estas características hacen que cuando escapan se adapten rápidamente al medio silvestre y compitan por recursos como alimento y espacio con las especies nativas, que en la mayoría de las ocasiones son desplazadas por las invasoras. En Japón, Nueva Zelanda y otros países la especie *Bombus terrestris* ha desplazado a las especies nativas cuya desaparición, dadas estas condiciones, ya es una realidad. Adicionalmente la propagación de enfermedades exóticas se ha presentado con mayor intensidad en países importadores, siendo una causa más de preocupación. Además, la presencia de *Bombus* invasores erosiona genéticamente a las poblaciones nativas ya que se entrecruzan creando híbridos.

La polinización del agave es otro ejemplo de la importancia de estos animales polinizadores. En este caso, para llevar a cabo su reproducción sexual, las plantas del género *Agave* requieren la visita de murciélagos, principalmente, ayudados por algunos colibríes, aves percheras y otros insectos. Algunas variedades de esta planta, como el agave azul (*Agave tequilana*), se emplean para la producción de tequila, otras para aguamiel, pulque y mezcal, y otras más para fibras naturales, como el henequén (*Agave foucroides* y *A. sisalana*).

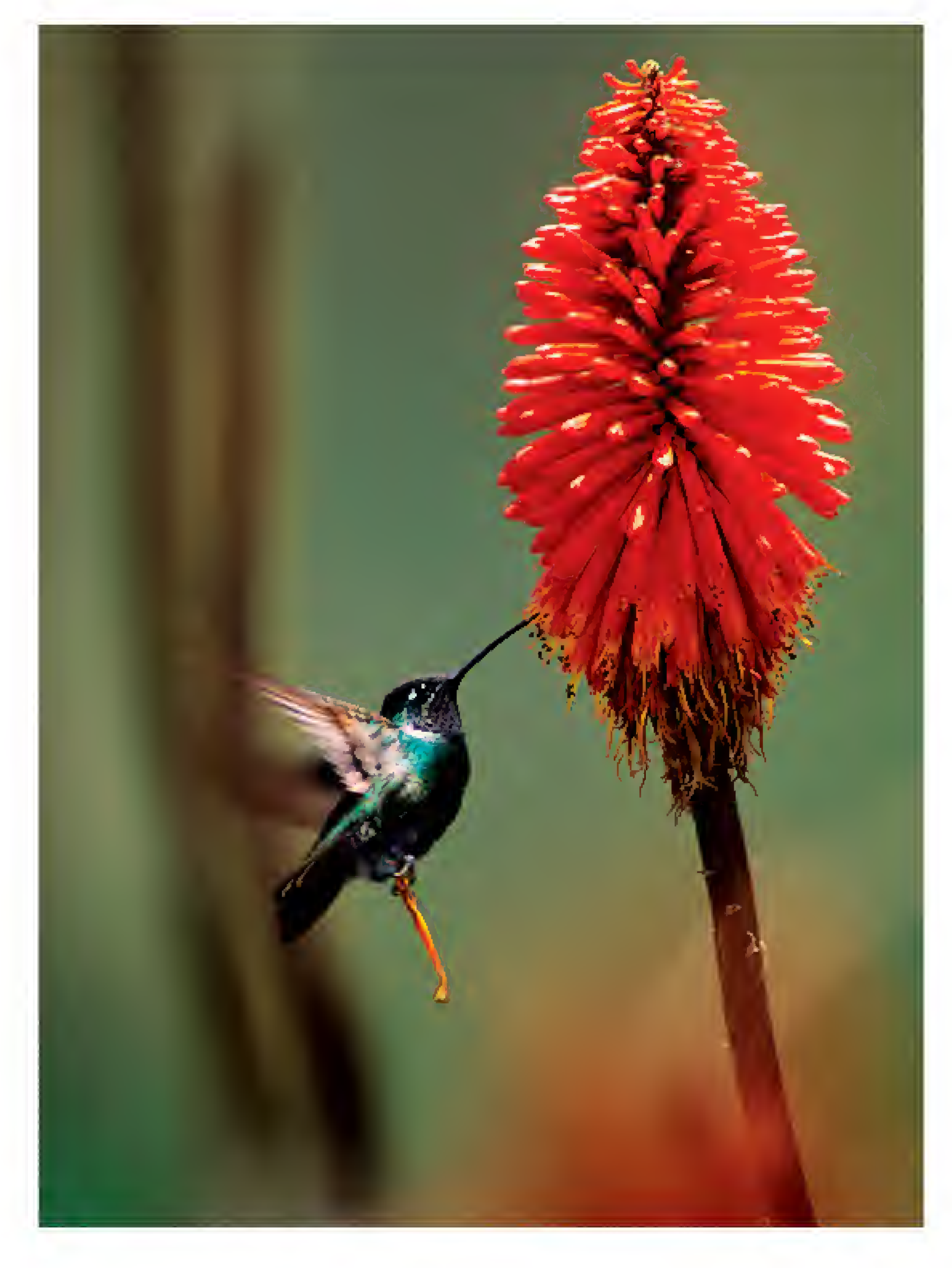
En México se reporta que hay 316 especies de plantas que se cultivan de manera cotidiana, de las cuales 286 se destinan para la alimentación y 80 como insumos para el vestido, la vivienda o como especies ornamentales. De las plantas que se usan para la alimentación, los humanos consumen el fruto o la semilla de 171 especies; de éstas, 80% depende de un polinizador para su producción, y en el 12% es esencial la polinización, es decir, de no existir



Los murciélagos polinizan las flores y dispersan las semillas de muchos cultivos comerciales, por lo que es preocupante que muchas de sus poblaciones estén en peligro.

Sin polinizadores como el murciélago magueyero (*Leptonycteris curasoae*), la producción de semillas de los agaves se reduce hasta 3000% de su tasa normal.



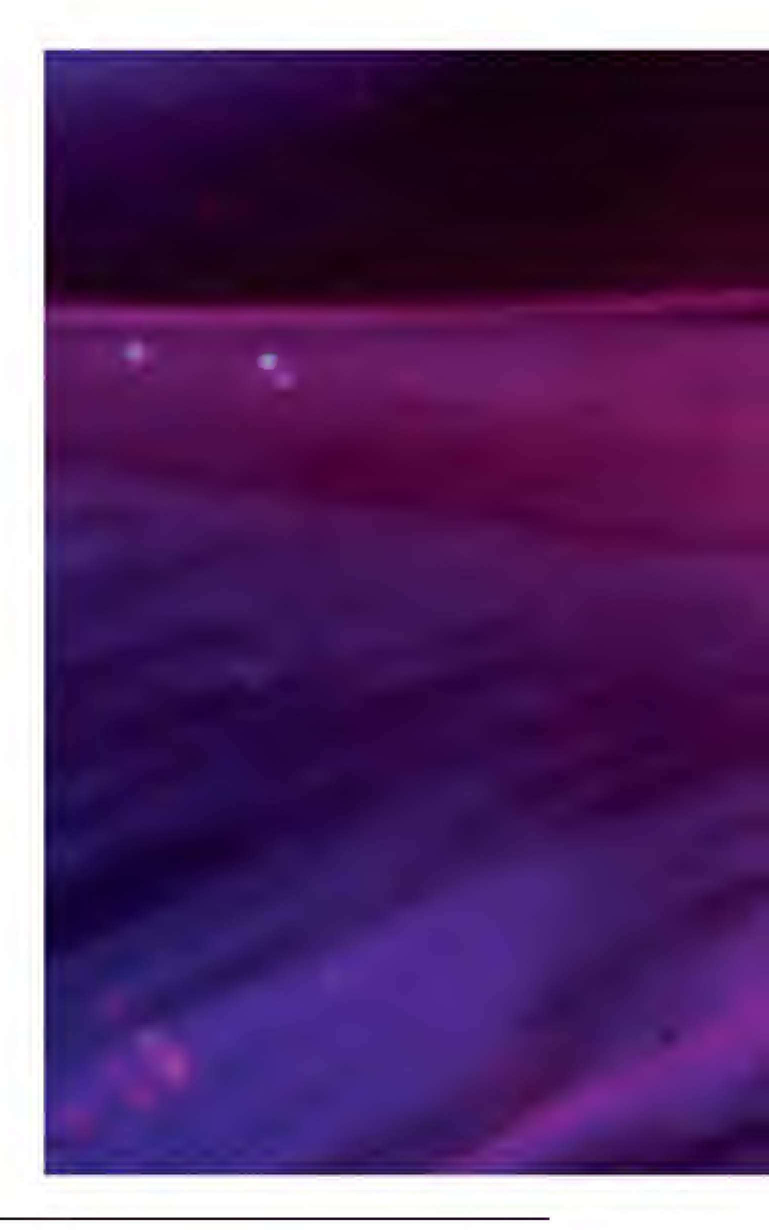


Al momento de tomar el néctar, los colibríes recogen en sus cabezas el polen de las flores que depositan a su vez en otras flores, desempeñando así un papel clave en la biología de la reproducción de muchas especies de plantas, algunas de las cuales dependen de ellos, en gran medida, para su supervivencia.
Foto: © Fulvio Eccardi

los polinizadores no se obtendrían los frutos o las semillas. Aunque la mayoría de los alimentos que consume el mexicano no requiere polinizadores (maíz, trigo, etcétera), sin éstos no podría conseguirse la variedad en la dieta ni la cantidad de nutrientes esenciales recomendados por los organismos internacionales para el bienestar humano.

En términos ecológicos, más de 80% de las 250 mil plantas con flor conocidas en el mundo requiere polinización para llevar a cabo su reproducción sexual. El grado de dependencia varía y depende del sistema reproductivo de cada organismo. Muchas plantas tienen flores perfectas, es decir, tienen los dos sexos en una sola flor o son hermafroditas. De entre éstas, algunas producen frutos sin la presencia de algún agente externo, es decir, se autopolinizan; otras requieren que el polen sea transportado de las anteras al estigma, porque estos dos órganos están separados espacialmente dentro de la misma flor o planta; otras más necesitan el polen de una planta distinta, es decir, no se autopolinizan. También hay plantas que tienen flores de un solo sexo, pudiendo ser que en un mismo individuo se produzcan flores macho y flores hembra de manera secuencial o simultánea, o bien que los individuos sean machos o hembras. En todos los casos la necesidad de polen externo es variable y depende de cada sistema reproductivo.

Hay muchos ejemplos de plantas que dependen fuertemente de los polinizadores para su reproducción. Un ejemplo bien conocido son las cactáceas columnares, plantas con una gran importancia social, económica y ecológica de México. En la región central del país, en las zonas áridas y semiáridas de la Cuenca del Balsas, se encuentra el centro de origen, diversidad y abundancia de estas plantas. La distribución de muchas especies se limita a esta zona, por lo que se les denomina endémicas. Se ha estudiado con detalle la reproducción de estas plantas concluyendo que son autoincompatibles y dependen de los murciélagos para formar frutos y semillas. Otros animales, incluidos los colibríes e insectos diurnos, desempeñan un papel variable entre las especies, pero los murciélagos son sus polinizadores principales. En ésta y otras regiones de México la creencia de que todos los murciélagos son vampiros ha provocado que en muchas comunidades las cuevas se destruyan para erradicarlos. Se ha trabajado para promover la importancia de estos animales y señalar las diferencias entre vampiros y otros murciélagos de hábitos alimentarios diferentes. La conservación de los murciélagos nectarívoros (*Leptonycteris curasoae*, *L. nivalis* y *Choeronycteris mexicana*) es primordial para res-



guardar los bosques de cactáceas columnares y con ellos los paisajes áridos y semiáridos tan comunes en el centro de México.

Por todo lo anterior es importante difundir que para lograr la conservación efectiva del planeta, sus especies y del ser humano se deben preservar los procesos que mantienen la diversidad y dinámica ecológica en el planeta. La polinización es un factor clave en el mantenimiento de dichos procesos por lo que se debe poner atención en él al formular planes de manejo y conservación de la biodiversidad. No usar pesticidas en jardines y cultivos, fomentar el uso de especies nativas en la polinización comercial, impulsar el sistema de cultivos mixtos y no monoespecíficos para mantener la diversidad de polinizadores y mantener el hábitat son acciones que tienen que realizarse en el corto plazo. En las ciudades promover la creación de jardines con plantas propicias para los polinizadores es una buena práctica que, sin duda, ayudará a la conservación de los polinizadores.

Bibliografía

Ashworth L., M. Quesada, A. Casas, R. Aguilar, y K. Oyama. 2009. "Pollinator Dependent Food Production in Mexico", en *Biological Conservation* (en prensa).

Kearns C.A., D.W. Inouye y N.W. Waser. 1998. "Endangered Mutualisms: The Conservation of Plant Pollinator Interactions", en *Annual Review of Ecology and Systemactics* 29: 83-113.

Klein A.M., B.E. Valssiere, J.H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen, y T. Tscharnfke. 2007. "Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops", en *Proceedings of the Royal Society B* 274: 303-313.

Valiente-Banuet, A., M.C. Arizmendi, A. Rojas, y L. Domínguez. 1996. "Ecological Relationships between Columnar Cacti and Nectar Feeding Bats in Mexico", en *Journal of Tropical Ecology* 12: 103-119.

Valiente-Banuet, A. 2002. "Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de las cactáceas columnares de México", en *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 99-104.

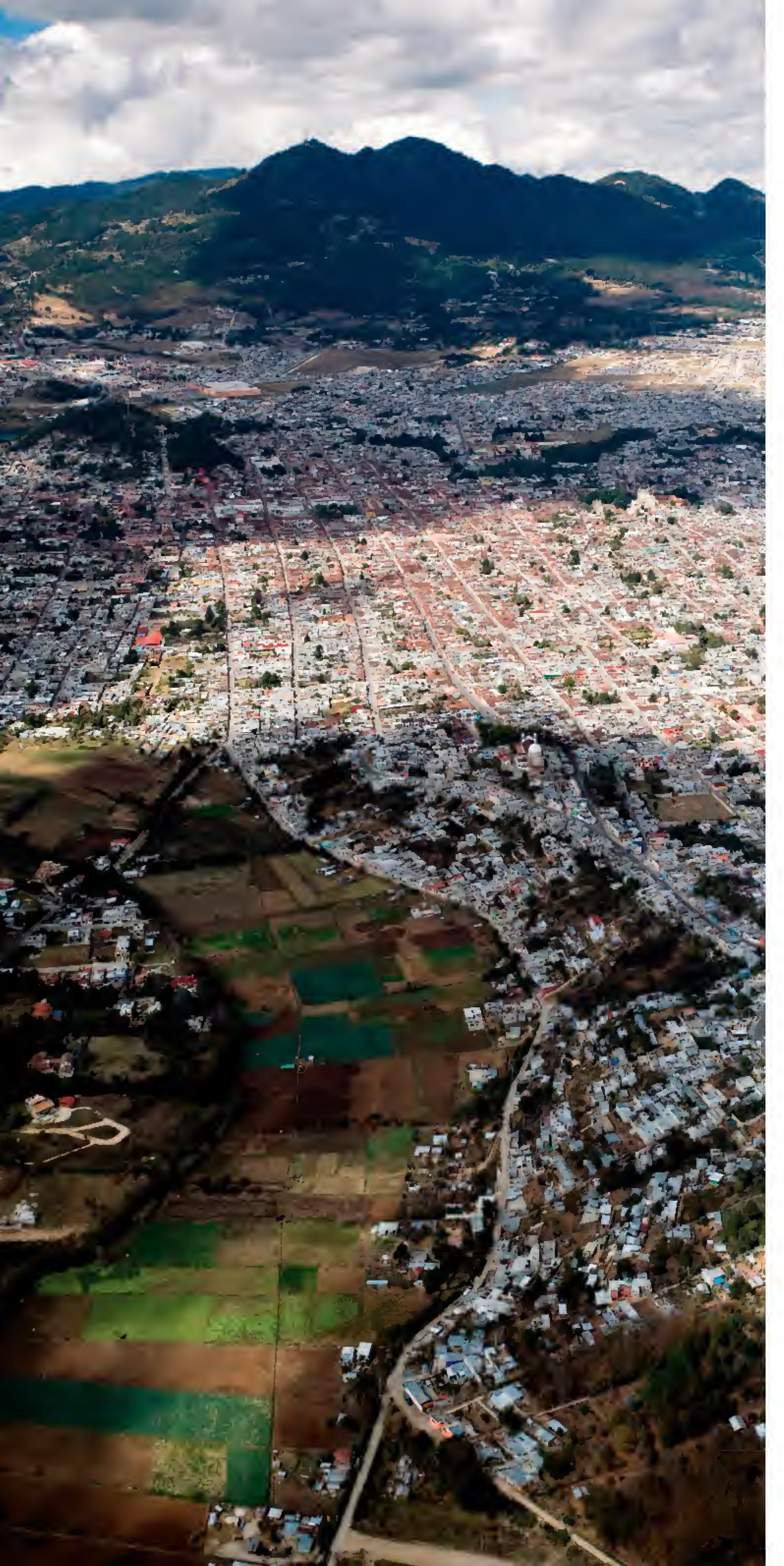
Winter K., L. Adams, R. Thorp, D. Inouye, L. Day, J. Ascher, y S. Buchmann. 2006. Importation of Non-native bees in North America: Potential Consequences of Using *Bombus terrestris* and Other Non-Native Bumble Bees for Greenhouse Crop Pollination in Canada, Mexico and the United States. North American Pollination Campaign, San Francisco.

* Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, coro@servidor.unam.mx, coro.arizmendi@gmail.com



Se estima que el valor monetario anual de los servicios de polinización natural en la agricultura mundial podría ascender hasta los 200 mil millones de dólares.

Foto: © Fulvio Eccardi



LA RESERVA ECOLÓGICA HUITEPEC

PAULA L. ENRÍQUEZ ROCHA
Y JOSÉ LUIS RANGEL SALAZAR*

Debido a sus características biológicas y a su escarpada topografía, los ecosistemas mesófilos de montaña son muy frágiles. Éstos se distinguen por presentar neblina persistente o estacional que crea un microclima de gran humedad atmosférica: las gotas de agua se capturan por condensación provocada por la vegetación y ocasionan gran precipitación pluvial; los árboles son de gran tamaño con una alta proporción y diversidad de epífitas; los suelos son húmedos con gran cantidad de hojarasca y materia orgánica. Presentan una gran diversidad biológica, muchas especies son raras y endémicas como resultado del aislamiento y la especiación.

Los bosques mesófilos de montaña han estado bajo presión humana por largo tiempo y han sido modificados para usos agrícolas, de pastoreo y crecimiento urbano. En aquellos que no han sufrido transformaciones drásticas se ha mantenido un uso excesivo y constante de recolección de madera para uso doméstico (leña) y producción de carbón vegetal; extracción de epífitas y tierra para plantas, así como la extracción de agua. Sin embargo, se ha considerado que la "deforestación hormiga", con propósitos agropecuarios, es la principal causa de destrucción de estos bosques. La extracción de madera ocasiona cambios en la estructura de la vegetación y reduce la calidad de los hábitats para la



fauna, pues disminuye la disponibilidad de recursos, aumenta la competencia con especies de ambientes perturbados, incrementa los riesgos de depredación que, a su vez, modifican los mecanismos que regulan a las poblaciones y tiene, por lo tanto, efectos negativos en la supervivencia y desempeño reproductivo de los organismos.

En México la distribución de los bosques mesófilos de montaña está fragmentada y restringida a menos de 1% de la superficie del país. Se estima que más de 50% de estos bosques ha desaparecido, y esta tendencia continúa. Chiapas tiene alrededor de 32 fragmentos de bosque mesófilo de montaña, los cuales se distribuyen en la Sierra Madre de Chiapas, las Montañas del Norte, las Montañas de Oriente y en la Meseta Central de Chiapas. En la Meseta Central, conocida también como Los Altos, se encuentra uno de los últimos remanentes de bosque mesófilo de montaña en la parte alta del volcán Huitepec.

Volcán Huitepec

Los Altos de Chiapas tienen una topografía accidentada donde se localizan las dos montañas más importantes de la región mayores a los 2500 metros de altitud: el volcán Huitepec (2750 msnm) y el volcán Tzontehuitz o *Tzonte'witz*, "la montaña de árboles con musgos" (2910 msnm). Huitepec, "la montaña de colibríes o de espinas", en náhuatl, tiene cerca de 10 millones de años; los tzotziles lo llaman *Muk'ul-huitz* (Gran Montaña o Gran Cerro); también es conocido como *Oxyoket*, que en tzotzil se emplea para desigar al soporte de tres piedras donde se coloca el comal. Una versión relacionada al nombre Oxyoket menciona que durante las tardes sobresalen tres picos del volcán y los rayos del sol se filtran a través de la neblina iluminándolo con tonos amarillos, rojos y anaranjados simulando un gran fogón. Algunos pobladores se refieren a él como "cerro de agua de niebla". Se dice que es un volcán de agua que hace tiempo presentó erupciones de vapor de agua que posteriormente se condensaron en lluvia precipitándose sobre la región. En él hay corrientes volcánicas que contienen agua, rocas y arena.

La Reserva Ecológica Huitepec

En 1986, se constituyó un fideicomiso de conservación para la ladera este-noroeste del volcán Huitepec y después, mediante Servidumbre Ecológica, la ladera se estableció como Reserva Ecológica con fines de conservación por la asociación civil Pronatura, a solicitud de un grupo de vecinos preocupados por la protección del remanente de bosque mesófilo de montaña y asociaciones de encinares en el volcán;

Según el II Conteo de Población y Vivienda 2005 el municipio de San Cristóbal de las Casas tiene una población de 166460 habitantes en donde confluye la mayoría de los grupos étnicos del estado de Chiapas. Vista del volcán Huitepec desde el sureste de la ciudad.

Fotos: © Fulvio Eccardi



Vista aérea de San Cristóbal de las Casas y la Reserva Ecológica Huitepec.



En las inmediaciones de la reserva se cultivan diferentes tipos de flores que se adaptan muy bien a sus condiciones climáticas.

Foto: © Fulvio Eccardi

se logró mediante la adquisición del predio a un propietario privado. Esta reserva protege aproximadamente 135 hectáreas de bosque. A finales de 2005, las bases zapatistas de Huitepec Ocotal propusieron declarar 102 hectáreas como "reserva ecológica comunitaria zapatista", para ser protegida y reforestada por la propia comunidad con el respaldo de la Junta del Buen Gobierno de Los Altos, la cual reconoció su derecho de proponer cómo reservar sus terrenos ancestrales. Esta reserva comunitaria se localiza en las partes más altas del lado sur-oeste del volcán.

La Reserva Ecológica Huitepec se encuentra en altitudes que oscilan entre 2 230 y 2 750 metros sobre el nivel del mar y pendientes pronunciadas de 40° a 60° de inclinación. El clima es templado subhúmedo con lluvias durante el verano y las temperaturas medias anuales son de 12° a 14°C en las partes bajas, y entre 1° y 12°C en las altas. La vegetación dominante es bosque de encino donde destaca la ausencia de coníferas, y en las partes altas se localiza el bosque mesófilo de montaña. Se ubica aproximadamente a 4.5 km de San Cristóbal de las Casas, sobre la carretera que va a los pueblos de San Juan Chamula y Zinacantán. En la reserva existe un circuito turístico de 2 km, que sube la montaña hasta el bosque mesófilo. Al ingresar en la reserva hay un bosque de encino que antes era manejado selectivamente para obtener leña y donde se cortaban con frecuencia las ramas, manteniendo los troncos de los árboles. Después del establecimiento de la reserva, se limitó el acceso a la gente y ahora se encuentra en recuperación.

El agua es uno de los servicios ambientales que proporciona el Huitepec, ya que casi 80% del suministro de agua a los municipios de San Cristóbal de las Casas, San Juan Chamula y Zinacantán proviene del manto acuífero del volcán. Sin embargo, no sólo la población urbana y rural en la región de Los Altos hace uso de los recursos hidrológicos del volcán, sino también, de manera intensiva, la trasnacional Coca-Cola, que se localiza a las faldas del volcán.

Otros usos del bosque

El Huitepec es considerado un sitio sagrado por ser una de las montañas más altas de la zona. Según la cosmología indígena, en las grandes elevaciones de las montañas habitan los dioses que vigilan las acciones de la humanidad; sus estancias son las fuentes de agua y hacen brotar los manantiales, que en ocasiones secan como castigo. La comunidad indígena de San Juan Chamula realiza, en los primeros días de mayo (inicio de la temporada de lluvias), ofrendas de flores y rezos en los manantiales y ojos de agua en el volcán; en ellos coloca cruces de madera pintadas de verde para agradecer al manantial la abundancia de agua y a la tierra la prosperidad en las cosechas del año anterior, y pedir bienestar para el año que comienza. Las comunidades aledañas a la Gran Montaña (Chamula y Zinacantán) recolectan bromelias (principalmente *Tillandsia eizii*; cadena o kilón) y el naranjillo (*Myrsine juergensenii*) para eventos y ceremonias religiosas. La distribución de estas especies es cada vez más restringida debido a los pocos reductos de bosque que existen y a las condiciones particulares de humedad y sustrato que necesitan para su desarrollo; además de que la recolección por parte de las comunidades es masiva y aún no se controla, lo que significa la reducción de sus poblaciones.

Flora y fauna

A pesar de la pequeña superficie protegida, ésta representa un refugio importante para la conservación de especies endémicas, raras y/o amenazadas. Se ha registrado un total de 83 familias de plantas vasculares en 315 especies, lo que representa 32% de la riqueza florística regional por encima de los 2 000 m de altitud en Los Altos. Los helechos (Pteridophyta) representan 12.4% del total de especies, las dicotiledóneas 71.4% y las monocotiledóneas 16.2% de la riqueza. Sin embargo, muchas especies de plantas crecen en bajas densidades y algunas se han extinguido.

En el caso particular del bosque mesófilo, se han registrado 125 especies vegetales, siendo exclusivas de este ambiente 24 de ellas. La especie dominante de encino es el roble rojo (*Quercus laurina*), aunque también hay roble blanco (*Q. crassifolia*), pero en menor gra-

do. En el subdosel se encuentran algunas especies de k'ahk'et te o marangola (*Clethra chiapensis*), aguacate (*Persea americana*) y chucamay o chicamay (*Styrax magnus*).

En el caso de las aves se han reportado más de 100 especies entre residentes y migratorias. Estas últimas utilizan el sitio temporalmente para alimentarse y descansar, y así seguir su largo viaje hacia el norte o sur, mientras que otras pasan toda la temporada de migración en la reserva. Durante el día es posible escuchar los cantos del clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*), el zorzal de Frantzius (*Catharus frantzii*), o incluso del trogón mexicano (*Trogon mexicanus*). Se han registrado hasta cinco especies de colibríes, desde el más común –el colibrí oreja blanca (*Hylocharis leucotis*)– hasta el colibrí magnífico (*Eugens fulgens*), con sus colores iridiscentes. Entre la hojarasca se observan a las codornices silbadoras (*Dactylortyx thoracicus*) en pequeños grupos, al momoto garganta azul (*Aspatha gularis*) posado en una rama, o al chipe rosado (*Ergaticus versicolor*) buscando insectos en las hojas de los árboles; esta última especie es muy rara y actualmente está considerada en peligro de extinción. Durante los meses de octubre a mayo es posible encontrar en las partes altas del dosel del bosque especies migratorias como los chipes, con sus llamativos y atractivos colores amarillos, blancos o grises, desplazándose ágilmente por entre las ramas y hojas, y emitiendo su peculiar "chip, chip", como el chipe corona negra (*Wilsonia pusilla*), el chipe trepador blanco y negro (*Mniotilta varia*), el chipe negro-amarillo (*Dendroica townsendi*) e incluso el chipe mejilla dorada (*Dendroica chrysoparia*), especie también considerada en peligro. En la Reserva del Huitepec se encuentran hasta cinco especies de búhos; dos de ellas están reportadas en alguna categoría de conservación: el tecolote barbudo (*Megascops barbarus*) en peligro y el tecolote canelo (*Aegolius ridgwayi*) como amenazado.

Se han registrado aproximadamente 40 especies de mamíferos entre las que se incluyen a las ardillas gris y voladora, tlacuaches, zorros, mapaches, murciélagos y ratones, así como los raros puerco espín (*Coendou mexicanus*) y armadillo (*Dasypus novemcinctus*). Dos especies de mamíferos de la reserva son endémicas de México y Guatemala, y además presentan alguna categoría de riesgo de conservación: la musaraña de San Cristóbal (*Sorex stizodon*) y el ratón chiapaneco (*Peromyscus zarhynchus*). Hay también anfibios y reptiles, como el dragoncillo de labios rojos (*Abronia lytrochila*) y la falsa nauyaquita o "mocosh" (*Cerrophidium tzotzilorum*), endémica de la región. Otra fauna, aunque diminuta pero no por eso menos importante, son los insectos, arañas y gusanos, que siempre desempeñan un papel fundamental en el ciclo biológico de los ecosistemas.



Los helechos representan 12.4% del total de especies de la reserva.

Foto: © Fulvio Eccardi

A pesar de su pequeña superficie, la Reserva Ecológica Huitepec representa un refugio importante para la conservación de especies endémicas, raras y/o amenazadas

Problemática

Diversas actividades humanas ejercen una constante presión en el volcán Huitepec y son factores de riesgo para la permanencia de la reserva, los ecosistemas –como el bosque mesófilo– y la diversidad biológica que alberga. Las principales actividades son: el incremento de la población humana local; la extracción ilegal de madera y epífitas; el aumento de asentamientos humanos al costado oeste de la reserva, así como de grandes residencias del lado este; la expansión de terrenos para uso agrícola; el saqueo de agua, en conjunto con las condiciones de pobreza y marginación de la población rural e indígena en la región.

Conclusión

La Reserva Ecológica Huitepec presenta gran diversidad biológica y tiene uno de los últimos remanentes de bosque mesófilo de montaña en Los Altos de Chiapas. Sin embargo, el volcán Huitepec y la reserva enfrentan una problemática ambiental en el uso de los recursos naturales a diferentes niveles. Por tal motivo, hay que considerar que la permanencia de esta diversidad biológica dependerá en buena medida de la conservación de dichos remanentes de bosque mesófilo de montaña y bosques húmedos de encino.

Agradecimientos

A Miguel Martínez Icó y Nicolás Hernández por la información proporcionada y traducción de los nombres en tzotzil. A Miguel Martínez Icó y Javier Gómez Gómez por la revisión del manuscrito. A Rosa María Vidal, de Pronatura, por la información puntual de la reserva; a Emmanuel Valencia por la realización de la foto aérea.

Bibliografía

Aubry, A. 2008. *San Cristóbal de las Casas. Su historia urbana, demográfica y monumental 1528-1990*. Apoyo al Desarrollo de Archivos y Bibliotecas de México-Editorial Fray Bartolomé de Las Casas, San Cristóbal de las Casas.

Bellinghausen, H. 2008. "El Huitepec está bajo amenaza de desalojo por autoridades priístas. La reserva ecológica comunitaria zapatista, manzana de la discordia en Chiapas", en *La Jornada*, 19 de enero de 2008.

Kappelle, M., y A.D. Brown (eds.). 2001. *Bosques nublados del neotrópico*. Instituto Nacional de Biodiversidad, Santo Domingo de Heredia.

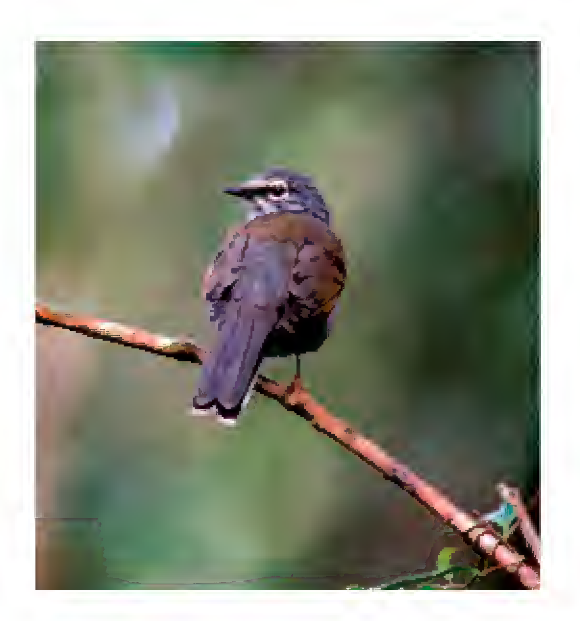
Luna-Cozar, J. 2005. "Distribución, abundancia y diversidad de Curculionidae (Insecta: Coleóptera) de hojarasca en la Reserva Huitepec, Chiapas, México", tesis. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, 27 pp.

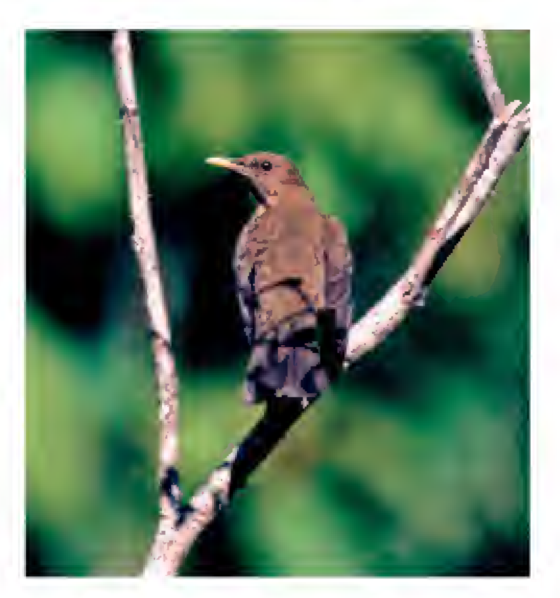
Morón-Ríos A. y E. Huerta-Lwanga. 2006. "Soil Macrofauna of Two Successional Evergreen Cloud Forest Stages from the Cerro Huitepec Nature Reserve, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México", en *Interciencia* 31: 611-615.

Naranjo, E.J., y E. Espinoza. 2001. "Los mamíferos de la Reserva Ecológica Huitepec, Chiapas, México", en *Revista Mexicana de Mastozoología* 5: 58-67.

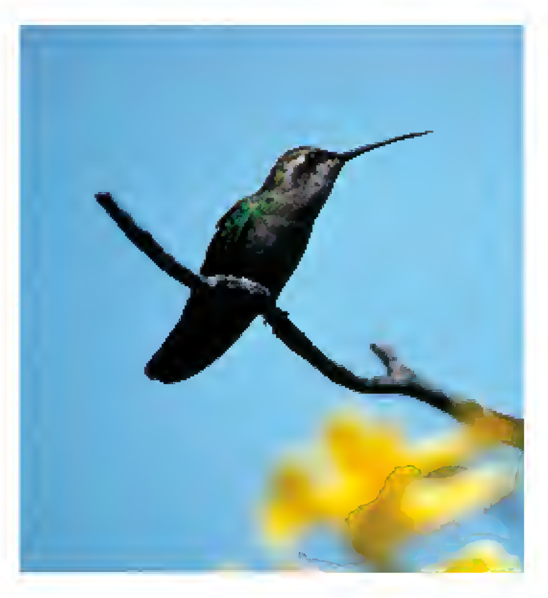
Ramírez-Marcial, N., S. Ochoa-Gaona, M. González-Espinosa, y P. F. Quintana-Ascencio. 1998. "Análisis florístico y sucesional en la Estación Biológica Cerro Huitepec, Chiapas, México", en *Acta Botánica Mexicana* 44: 59-85.

*Departamento de Ecología y Sistemática Terrestre, El Colegio de la Frontera Sur, penrique@ecosur.mx









Clarín jilguero (*Myadestes occidentalis*)

Zorzal de Frantzius (*Catharus frantzii*)

Trogón mexicano (*Trogon mexicanus*)

Colibrí magnífico (*Eugens fulgens*).

Fotos: © Fulvio Eccardi



LOS PECES BIOLUMINISCENTES EN MÉXICO: ¿UN RIESGO PARA EL AMBIENTE?

SERGIO CASTILLO ALVARADO[1]
FLOR SÁNCHEZ ALEJANDRO[1]
ROBERTO MENDOZA ALFARO[1]
PATRICIA KOLEFF[2]

Los peces bioluminiscentes, comercialmente conocidos como GloFish®, se crearon al modificar los peces cebra –ciprínidos, originarios del sureste asiático, emparentados con las carpas y los barbos. A ellos se insertó un gen de fluorescencia natural que les confiere la capacidad de tener colores llamativos que brillan. Su incorporación y comercialización dentro del acuarismo ha sido un gran éxito, y su llegada a México es inminente. Sin embargo, surgen numerosas preguntas, entre ellas: ¿qué riesgos representaría para los peces nativos la posible introducción de un pez genéticamente modificado en nuestro país? ¿Estamos preparados para impedir la liberación accidental de los peces bioluminiscentes en nuestros ecosistemas acuáticos?

Historia de los peces bioluminiscentes

El pez cebra *Danio rerio*, perteneciente a la familia de los ciprínidos, es nativo de las regiones tropicales de Asia, específicamente de India, Pakistán, Nepal y Bangladesh. Desde hace más de 60 años es conocido en todo el mundo y ampliamente comercializado como especie ornamental; además, ha sido utilizado como modelo de investigación en genética y biología del desarrollo.

En 2003, científicos de la Universidad Nacional de Singapur presentaron los primeros peces cebra transgénicos con la característica de producir luz –lo que se denomina bioluminiscencia– y de contar con colores muy llamativos. Lo lograron al expresar en ellos proteínas de fluorescencia natural presentes en algunos organismos marinos con el objetivo primordial de utilizarlos como indicadores biológicos de contaminación. Sin embargo, al darse cuenta del potencial económico de estos peces dentro del acuarismo, la empresa estadounidense Yorktown Technologies firmó un convenio con los investigadores para patentarlos e iniciar su comercialización.

La metodología utilizada para la elaboración de este organismo transgénico consistió en la extracción de las proteínas verde fluorescente (GFP, por sus siglas en inglés), amarillo fluorescente (YFP) y rojo fluorescente (RFP). La GFP fue extraída de la medusa bioluminiscente de Norteamérica (*Aequorea victoria*); la YFP es un derivado de la GFP; y la RFP fue aislada del coral del océano Indopacífico (*Discosoma* sp.). Como resultado se obtuvieron peces bioluminiscentes de colores verde, amarillo, rojo y naranja, mismos que reprodujeron hasta conseguir líneas estables de producción.

Regulación de los peces bioluminiscentes

En 2000, durante la reunión del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD), fue adoptado el Protocolo de Cartagena. En él quedó establecido que todos los países signatarios deberían asegurar la implementación de un análisis de impacto ambiental para prever los

Peces cebra modificados genéticamente para hacerlos fluorescentes.
Foto: © www.glofish.com

La salud de los ecosistemas es fundamental para resistir a posibles especies invasoras



Pez cebra (*Danio rerio*). Aunque no se ha permitido su comercialización en ninguna otra parte del mundo, ya han sido publicadas noticias de su presencia como mascota en algunos países europeos (Alemania y Reino Unido), y extraoficialmente en México, tal vez introducidos por una de las vías de comercio más difíciles de regular, la Internet.

Foto: © M. Noren, FishBase

potenciales efectos adversos de los organismos genéticamente modificados (OGM). No es sorprendente que los dos países involucrados en la creación y venta de los GloFish® (Singapur y Estados Unidos, EUA) no hayan firmado el Protocolo de Cartagena, pero en todos los demás países signatarios (cerca de 103), conforme al Principio Precautorio, las regulaciones deberán ser muy estrictas debido a que no existe la certeza científica de todos los posibles impactos que un organismo transgénico ocasione en el medio ambiente y la salud humana.

La Food & Drug Administration (FDA), en conjunto con el Departamento de Agricultura y el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de EUA, otorgó el permiso a Yorktown Technologies de comercializar este transgénico argumentando que, al no tener fines alimenticios, el pez cebra bioluminiscente no representa mayor riesgo que su similar no modificado, que se ha vendido ya por mucho tiempo. Otro argumento para su aprobación fue que los peces cebra, al ser nativos de regiones tropicales de Asia, no podrían sobrevivir bajo las condiciones climáticas de EUA.

Algunos científicos califican este permiso de venta como un antecedente peligroso y una muestra de la escasa legislación actual porque consideran que la FDA no realizó un análisis adecuado de todos los impactos al ambiente y a la salud que pudiesen originar los GloFish®. Adicionalmente, debido a la facilidad con la que se aceptó a este OGM, temen que se comercialicen otros futuros organismos transgénicos que pudieran representar un riesgo importante.

En México, en 2005 fue expedida la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y se creó la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), como entidad encargada de coordinar las políticas de la administración pública federal relativas a la bioseguridad y a todo uso y aprovechamiento de los OGM, así como sus productos y subproductos. La adopción del Principio Precautorio establece una mejor relación costo-eficacia y es preferible a la adopción de medidas posterior a la introducción de una especie exótica con potencial invasivo.

Análisis de riesgo

Una de las principales herramientas precautorias para determinar el grado de peligrosidad de los organismos que deban o no entrar a nuestro país son los análisis de riesgo, estudios en los cuales se recopila la mayor información posible del organismo en cuestión y, con base en preguntas clave, se determina si representa un riesgo para el país. En este artículo se presentan los resultados del análisis de riesgo FISK®, utilizado para peces no nativos que vayan a ser introducidos en una región. Además, incluye un análisis de riesgo que considera la modificación genética.

Biología de la especie

El pez cebra se encuentra comúnmente en aguas tranquilas poco profundas con o sin vegetación, aunque también se ha reportado su presencia en las márgenes de ríos con corriente. Por lo general, ocupa toda la columna de agua, alimentándose desde el sustrato hasta la superficie. Tiene una dieta omnívora, pero se alimenta sobre todo de insectos y microcrustáceos.

Su tasa reproductiva es alta, un promedio de 200 huevos por puesta (hasta 900 en condiciones controladas), y con una fertilización externa pueden reproducirse cada dos o tres días durante todo el año dependiendo de la disponibilidad de alimento. Presentan cuidado parental de los nidos, que eclosionan a los dos días de fertilizados; los alevines buscan alimento a los tres días de nacidos y alcanzan su madurez sexual a los tres meses.

Rutas de introducción

El acuarismo es la vía principal de posible acceso de los GloFish® a México. Son muchas las especies exóticas que así han sido introducidas en nuestro país, y que se vuelven invasoras. Como ejemplo está el pez joya en Cuatrociénegas o los plecos en el sureste de México (ver *Biodiversitas* 70, enero-febrero de 2007). Ambas especies tal vez fueron liberadas intencionalmente al medio natural por personas que ya no querían cuidarlas en sus acuarios o por escapes de las granjas de

producción, lo que ha provocado un daño significativo en los ecosistemas acuáticos, que se traduce en grandes pérdidas y gastos económicos para nuestro país.

Condiciones climáticas

Como ya fue mencionado, GloFish® fue aceptado en EUA porque al parecer no podría sobrevivir en el clima de Norteamérica; no obstante, Fuller *et al.*[1] reportan apariciones del pez cebra natural (no modificado genéticamente) en los estados de California, Connecticut y Florida, y una población establecida en Nuevo México, lo que indica que aunque sea una especie tropical puede residir en regiones con diferentes climas. Además, la denominación "tropical" queda en entredicho dado que el clima de las regiones de su distribución natural va de 6°C en invierno a 38°C en verano. Otra posibilidad es que al ser una especie que se reproduce con rapidez puede aclimatarse poco a poco a condiciones climáticas más frías.

En México actualmente no hay registro de la presencia del pez cebra en el medio natural, pero el riesgo es aún mayor que en EUA debido a que aquí existen zonas con clima tropical similares a las de su hábitat de origen, como sucedió con la liberación accidental y naturalización del pez cebra en Colombia, cuyo clima es muy similar al de regiones tropicales de México.

Es importante destacar la importancia de la conservación de los ecosistemas frente al posible potencial invasor de una especie. Un ambiente saludable presenta una mayor resiliencia hacia las especies invasoras, en cambio los ecosistemas más degradados y modificados son más susceptibles a ellas.

Modificación genética

La mayoría de los científicos menciona que los colores brillantes provocarán que los depredadores puedan detectar más fácilmente a estos peces y, por ende, contribuyan a su desaparición;[2] sin embargo, también existe la posibilidad de que se presente el fenómeno conocido como aposematismo, que consiste en que algunos organismos presentan rasgos llamativos a los sentidos como señal de advertencia para alejar a sus depredadores (el color rojo en organismos venenosos, por ejemplo) y, con ello, la población prolifere. El único estudio referente a este tema lo reportan Cortemeglia y Beitinger,[2] en el que utilizaron como depredador a la lobina (*Micropterus salmoides*) y concluyen que no hay diferencias significativas en la depredación de los peces cebra silvestres y los transgénicos.

Otro riesgo serio es la posible hibridación, fenómeno muy frecuente en peces, que se da cuando organismos de diferentes especies logran reproducirse entre sí. Si bien el género *Danio* es exclusivo de Asia, hay antecedentes de hibridación entre distintos géneros, y como en México la familia Cyprinidae es una de las más numerosas, los peces cebra bioluminiscentes podrían llegar a hibridizarse con algunas especies nativas, lo que provocaría desequilibrios en las poblaciones de peces, difíciles de diagnosticar.

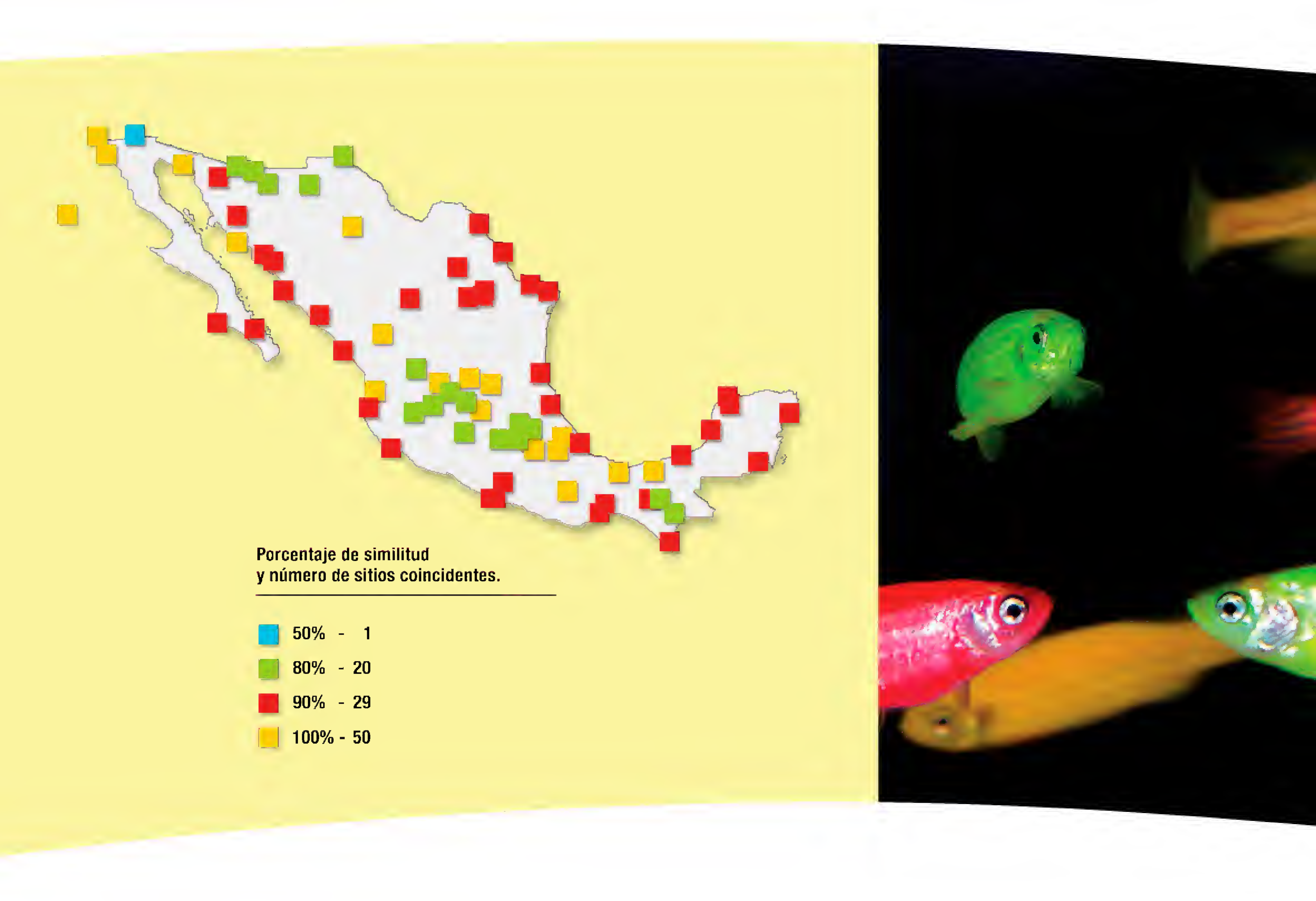
Hasta el momento, se han realizado varios experimentos para determinar la toxicidad y alergenicidad de la proteína fluorescente en organismos que puedan llegar a consumirla, pero no ha sido encontrada evidencia negativa alguna, aunque no se excluye la posibilidad de que se presenten efectos adversos a largo plazo.

Contingencia

A pesar de que por el momento está prohibida la comercialización de GloFish® en nuestro país, no se ha impedido su entrada ilegal. Por ello es urgente que la sociedad sea consciente de los posibles impactos que pueden tener estas singulares mascotas.

Se debe promover la certificación de los establecimientos, de manera que sea obligatorio que cuenten con infraestructura y métodos de manipulación que impidan la liberación accidental de organismos y la transmisión de enfermedades a otros organismos en vida silvestre. Será necesario que se incluyan en la normatividad análisis de riesgo, certificaciones HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) y estudios de impacto ambiental, así como la obligatoriedad de comercializar únicamente organismos estériles o del mismo sexo que aseguren el control total de los riesgos.





Similitud climática (parámetros térmicos) de México con la región nativa (India, Bangladesh y Nepal) del pez cebra (*Danio rerio*).

Si bien los importadores ilegales crean redes bien coordinadas, los pequeños comerciantes carecen de la información técnica necesaria acerca de las especies y su posible potencial invasivo; por consiguiente, es importante fomentar programas de educación enfocados en los comerciantes e incentivar a aquellos que cumplan al pie de la letra con las regulaciones.

Esto representa un área de oportunidad para la cooperación entre la Secretaría de Economía, la SEMARNAT y CONABIO para la difusión de especies nativas que sean seguras y candidatas a ser explotadas en el acuarismo. A la par de esta actividad debe impulsarse la educación ambiental que contemple prácticas seguras e información sobre la biología de las especies nativas y exóticas, que a largo plazo generará la conciencia colectiva que logre identificar especies exóticas en el medio ambiente (que, en el mejor de los casos, pueda estar en etapas de colonización aún controlables). Uno de los mensajes más importantes que se debe difundir es la correcta disposición de las mascotas, la cual consiste en congelarlas y desecharlas.

Conclusiones

El análisis de riesgo utilizado (FISK®) arrojó como resultado que los peces cebras representan un riesgo para México y, por consiguiente, no deben ser introducidos en nuestro país; pero además, considerando que los GloFish® son OGM, deben tomarse las medidas precautorias adecuadas.

Se puede afirmar que hay probabilidades de que la especie se establezca en aguas mexicanas aunque la magnitud de los impactos es difícil de diagnosticar. La intención es dar a conocer posibles escenarios de riesgo para que todos los sectores trabajen de manera conjunta. A pesar de que no se pueden predecir con exactitud los efectos de las especies exóticas, la prevención es un aspecto muy importante, sobre todo considerando que los costos de una actuación tardía serán mucho mayores.

Finalmente, cabe la pregunta: ¿vale la pena poner en riesgo nuestro patrimonio natural, especies de peces y ecosistemas acuáticos por una especie ornamental que brilla? La bioluminiscencia es una característica asombrosa en la naturaleza y podemos observarla en muchos mares de México.

Bibliografía

[1] Fuller, P.L., L.G. Nico, y J.D. Williams. 1999. "Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States", en *American Fisheries Society Special Publication* 27.

[2] Cortemeglia, C., y T. Beitinger. 2006a. "Susceptibility of Transgenic and Wildtype Zebra Danios, *Danio rerio*, to Predation", en *Environmental Biology of Fishes* 76 (1): 93-100.

Bratspies, R. 2006. "Glowing in the Dark: How America's First Transgenic Animal Escaped Regulation", en *Minnesota Journal of Law, Science & Technology* 6 (2): 457-504.



Cortemeglia, C., y T. Beitinger. 2006b. "Projected US Distributions of Transgenic and Wildtype Zebra Danios, *Danio rerio*, Based on Temperature Tolerance Data", en *Journal of Thermal Biology* 31 (5): 422-428. http://www.fishbase.com

Food & Drug Administration (FDA). 2003. United States Food & Drug Administration Statement Regarding GloFish® Fluorescent Fish, consultado en http://www.fda.gov/bbs/topics/NEWS/2003/NEW00994.html

Florida Department of Agriculture and Consumer Service. 2005. State of Florida Division of Aquaculture Analysis of Fluorescent Zebra Fish, consultado en http://www.glofish.com/science.asp

Fossa, S.A. 2002. "Genetically Modified Organisms in the Aquatic Trade?", en *Ornamental Fish International Journal* 39, consultado en http://www.glofish.com

Gong, Z., H. Wan, T. Leng Tay, H. Wang, M. Cheng y T. Yan. 2003. "Development of Transgenic Fish for Ornamental and Bioreactor by Strong Expression of Fluorescent Proteins in the Skeletal Muscle", en *Biochemical and Biophysical Research Communications* 308: 58-63.

Hayes, K.R., A.R. Kapuscinski, G. Dana, S. Li y R.H. Devlin. 2006. "Introduction to Environmental Risk Assessment of Transgenic Fish", en A.R. Kapuscinski, S. Li, K.R. Hayes y G. Dana (eds.), *Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms Series*, vol. 3: *Methodologies for Transgenic Fish*. CAB International, Londres, 2007.

Knight, J. 2003. "GloFish Casts Light on Murky Policing of Transgenic Animals", en *Nature* 426 (372).

Mendoza, R., C. Ramírez, S. Contreras, P. Koleff, P. Álvarez y V. Aguilar. 2007. *The Role of Freshwater Ornamental Fish Industry in Mexico as an Invasive Aquatic Species Pathway*. Reporte Interno para la Comisión de Cooperación del Ambiente.

Scientist' Working Group on Biosafety. 1998. *Manual for Assessing Ecological and Human Health Effects of Genetically Engineered Organisms. Part One: Introductory Materials and Supporting Text for Flowcharts*. The Edmonds Institute, Edmonds.

Snekser, J.L., S.P McRobert, C.E. Murphy y E.D. Clotfelter. 2006. "Aggregation Behavior in Wildtype and Transgenic Zebrafish", en *Ethology* 112: 181-187.

Spence, R., G. Gerlach, C. Lawrence y C. Smith. 2008. "The Behavior and Ecology of the Zebrafish, *Danio rerio*", en *Biological Reviews* 83: 13-34.

State of California Department of Fish and Game. 2003. State of California Department of Fish & Game Analysis of Fluorescent Zebra Fish, consultado en http://www.glofish.com/science.asp

Van Eenennaam, A.L., y P.G. Olin. 2006. "Careful Risk Assessment Needed to Evaluate Transgenic Fish", en *California Agriculture* 60 (3):124-131.

[1]Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León
roberto.mendoza7@yahoo.com
[2]Dirección de Análisis y Prioridades, CONABIO

Así como México, el estado de California en Estados Unidos, Canadá, Australia, el Reino Unido y la Comunidad Europea han prohibido la importación de organismos genéticamente modificados.

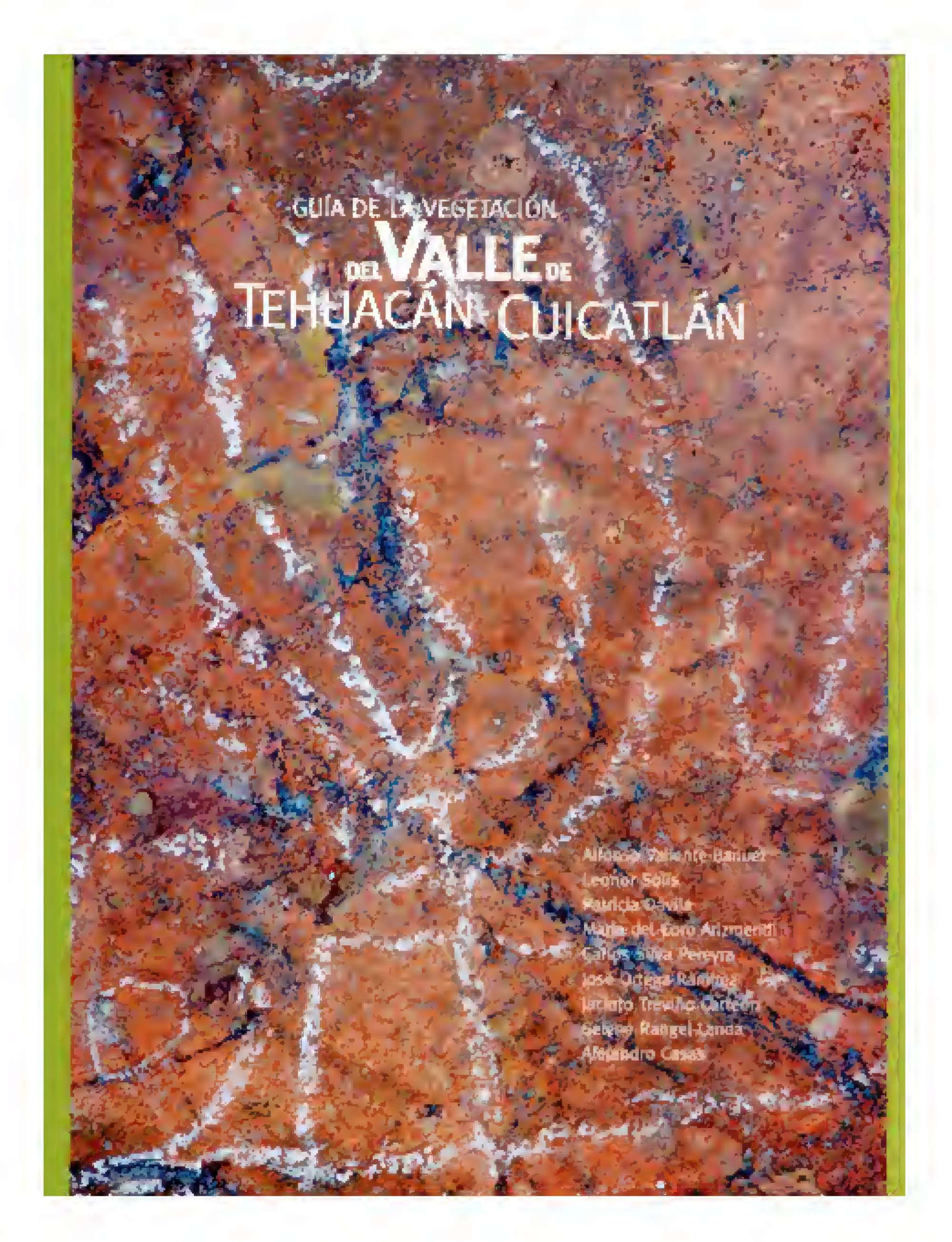
Foto: © www.glofish.com

Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán

El Valle de Tehuacán-Cuicatlán presenta una gran variedad de tipos climáticos, una composición de rocas superficiales muy variada y diferentes formas de relieve y de suelos. Estos factores influyen para conformar un mosaico complejo de variantes de vegetación. Muchas de las especies vegetales del valle son endémicas y es el lugar con mayor diversidad de cactáceas columnares del país con 64% de las especies.

Esta obra es una síntesis descriptiva de las comunidades vegetales del Valle de Tehuacán-Cuicatlán y su objetivo es ayudar a distinguir y caracterizar la vegetación de la región. Contiene una sección acerca del área de estudio en donde se describe su historia cultural, el valle, el clima y la geología. La guía se divide en seis tipos de vegetación, contiene la distribución altitudinal de la vegetación y un listado florístico.

Es una coedición de la UNAM (CIECO-FES Iztacala-Instituto de Ecología), la CONABIO, la Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán, A.C., el Laboratorio de Geofísica del INAH y la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Participaron en la edición Alfonso Valiente, Leonor Solís, Patricia Dávila, María del Coro Arizmendi, Carlos Silva, José Ortega, Jacinto Treviño, Selene Rangel y Alejandro Casas.





Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor: 04-2005-040716240800-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13288. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10861.

EDITOR RESPONSABLE: Fulvio Eccardi Ambrosi
DISEÑO: Renato Flores
ASISTENTES: Thalía Iglesias, Leticia Mendoza
CUIDADO DE LA EDICIÓN: Adriana Cataño
IMPRESIÓN: Litoprocess impresos
PRODUCCIÓN: Gaia Editores, S.A. de C.V.

La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan 14010 México, D.F.
Tel. 5004-5000, fax 5004-4931, www.conabio.gob.mx Distribución: nosotros mismos